

電気容量脈波計による小児動脈脈波の研究

健康児における指節脈波について

東京女子医科大学小児科学教室 (主任 磯田仙三郎教授)
 “ 第1生理学教室 (“ 箕島 高教授)

阿 部 栄 子
ア ベ エイ コ

(受付 昭和 36 年 6 月 7 日)

I. 緒 言

動脈々波を描記して、これを分析することは生理学的には、末梢血管の特徴、末梢血流および心機能などの心脈管系の血行力学的把握に役立つ。脈波計は Marey (1860) によつて考案され、多数の初期の研究を経て、Frank (1899) が脈波の理論と脈波計の基礎を発表して以来、描記法としては光学的方法が採用され、Wiggers¹⁾ (1924) Hamilton ら²⁾ (1934) その他の研究が相次いで報告された。このように脈波の研究は基礎的には大いに進展したがこれを臨床的に応用して、心脈管系の血行力学上の異常とその本質を判定する試みはあまり多くはなされていない、臨床家で心電図および心音図に興味を持つものの脈波にはあまり関心を持たない。その原因としては脈波描記が光学的方法であるために、定常な波形を得ることが難しいことにあり、他の1つは脈波の波形の成因を究めるには深い生理学的知識を前提とし、これを理解する時間的余裕がないことが原因であつたと考えられる。しかしその後外国では Burch³⁾ (1947) の光電的 plethysmograph, Nyboer⁴⁾ (1950) の電気的 impedance-plethysmograph などが発表され、Kaindl ら⁵⁾ (1959) の rheograph の考案までに到っている。

わが国では真下ら⁶⁾ (1935) は Atzler および Lehmann⁷⁾ (1932) の Dielektrographie, その他の圧電気を応用して脈波の多数の研究を発表し

たが臨床的応用までに到らなかつた。永井⁸⁾、⁹⁾、¹⁰⁾ および箕島ら¹¹⁾ (1953, 1957) は別個の構想の下に電気容量脈波計を製作し、これを応用した研究を報告した。近藤、竹内¹²⁾ は Hertzman¹³⁾, Burch³⁾ (1948) らの装置を改良して光電指尖容積脈波計を作製し、石井、金子¹⁴⁾ (1958) は Kaindl ら⁵⁾ (1956) の rheograph に準じて器械を製作して、主として脳動脈血行動態の研究を行なつた。佐伯¹⁵⁾ (1959) は新型電気容量脈波計を作つて人の指尖の血流動態を研究した。

かように国の内外共に脈波パターンの分析から心脈管動態を判定しようとする試みは盛になつてきた。小児科領域での動脈波の研究は非常に少く、また後述する如く多少の報告はあるがその目的と方法が異つておつて、われわれの目的に添うものはないといつてよい。

人体の動脈々波を描記するには直接にカニューレ又はカテーテルを動脈内に入れて、その内圧変動を光学的又は transducer で拡大することができる。齊藤ら¹⁶⁾ (1958) は Sanborn 社の電気圧力計を用いて総頸動脈と大腿動脈との脈波を描記している。この方法は外国でも多数行なわれているが特定の場合を除けば人への応用に制限があり、必ずしも安全な方法とはいひ難い、これに反して非観血的に皮膚を介して間接的に脈波を描記する方法は施行は容易であるが不必要な各種因子が介入するので前記のように従来はあまり臨床的応用

Eiko ABE (Department of Pediatrics, Tokyo Women's Medical College) : Studies on the arterial pulse waves of children with the capacitospymograph. On the digital pulse waves of healthy children.

を見なかつた。近年盛んに臨床家の間で利用される方法は大部分は局所の血流量の時間的経過を描いたもので、これは Volume pulse curve 流量脈波で、このカテゴリーには近藤、および石井、金子¹⁴⁾、(1958) の rheograph が入ると考えられる。

籾島、永井らの装置と方法は後で実験方法で述べるように蓄電板の一方を誘電体で絶縁し、他方の測定局部の皮膚を可変極板としたもので、これに関する研究報告は永井⁹⁾ (1953)、永井、石谷⁹⁾ (1954)、植木¹⁰⁾ (1955)、を初めとし、佐々木¹⁷⁾ (1959)、藤田¹⁰⁾ (1959)、佐野¹⁸⁾ (1959)、萩野²⁰⁾ (1960)、山県²¹⁾ (1960) ら、多数なされている。特に萩野²⁰⁾ はエレクトロニクスの観点より、従来の籾島らの電気容量脈波計を改良し、トランジスター化し、かつ基線のずれを除き、また曲線の較正を行ない得るようにした。

著者は小児科領域において、動脈々波分析の必要性を痛感し、種々の困難を克服して健常小児ならびに患児の動脈々波を描記し、これを分析した

のであるが、本編においてまず健常な小児脈波の波形と波の立上り時間すなわち波頂時間について、年令的推移を研究したものである。

II. 被検者および実験方法

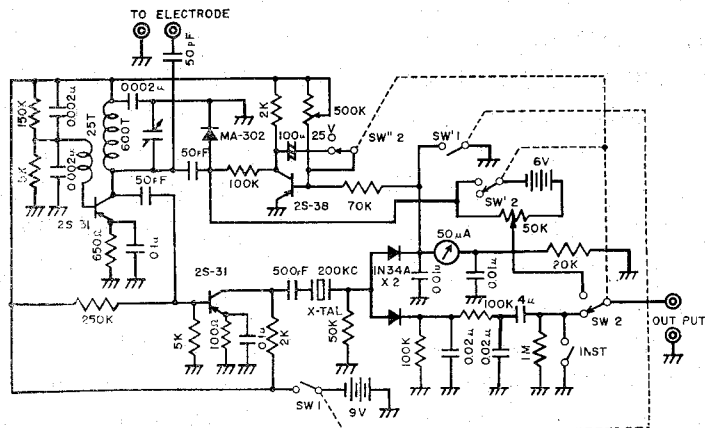
1. 被検者

研究対象は既往症精査、身体計測、血圧測定、一般小児内科的診察などにより健康とみなされた小児3~16才の男38名、女43名で、特に循環器障害のないことを確かめた小児である。

2. 脈波計

小児動脈々波の記録の大部分は永井、籾島らの考案し、佐々木、藤田らによつて改良され、(改良1型)さらに萩野によつて種々の点について改善された、トランジスター化電気容量脈波計(改良2型)で行なつたが、少数例は改良1型をもつて行なつた。

この改良2型の脈波計は従来の真空管の代りに、トランジスターを使用したもので、原型より容積も小さく、かつ軽量である。本装置は第1図の如き配線で構成され、高周波発振器部、Limit

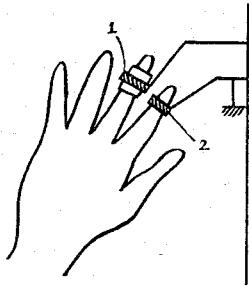


第1図

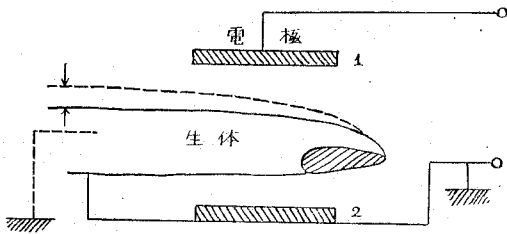
ter および Buffer 部、周波数弁別器および自動周波数制御回路 (A. F. C) からできている。この自動制御によつて、後述する如く、実施の場合局部の鱗血、充血、等によつて起る電気容量変化による脈波曲線基線の動揺を除去することができるのである。さらに別個の装置として一定の微小電気容量の変化によると考えられる脈波の波高(振幅)は同一個人の場合又は各個人の場合に変動するので、これを既知の微小電気容量変化で、曲

線を較正する較正装置が附属していて、随時脈波記録中に付加することができる。脈波計の出力端子は主として Sanborn 熱ペン書心電計の入力端子に接続して曲線を記録したが、時としてペン書き記録装置を利用した。

電気容量脈波計をもつて脈波を記録し得る原理を指節脈波を採る場合について簡単に説明すると第2図および第3図に示す如く、絶縁された金属環1は蓄電器の1つの固定極板として働き、金属



第2図



第3図

環2は直接指節の皮膚と接触して可動極板となる。この場合の蓄電気としての電気容量は簡単には第1および第2極板を平行板と考えると

$$C_0 = \frac{\epsilon \cdot F}{4\pi d} \dots\dots\dots 1)$$

で表わされる。εは極板間媒体の誘電率、Fは極板の面積、dは極板間の距離である。多くの場合このC。すなわち固有電気容量は20pF (pF=10¹²μμF)である。動脈壁の波動によつて、上式のdが変動するが、これによつて生ずる固有電気容量の変化分ΔCは萩野²⁰⁾によると指節脈波の場合約0.03pFである。しかし厳格な意味では上記の両極板は平行板ではなく、同心円筒であるから、内筒および外筒の半径をそれぞれr₁ r₂とし、円筒の長さをlとすると静電場論の教える通り

$$C_0 = \frac{2\pi l \epsilon}{\log \frac{r_2}{r_1}} \dots\dots\dots 2)$$

で与えられるが、この場合は波動によつてr₁が変動することになる。いずれにしてもこの変電気容量の変化分ΔCによつて発振周波数を変調し、これを前記の機構でpick upし記録するのである。

3. 実施

測定室温は15~20°Cとし、被検者は大体15分

安静を保たせる。被検者を仰臥位とし、その誘導部位(この場合は手指)は心臓と同高にあるようにする。第2図に示すように固定電極板(又は関電極はガラス円環の外側に幅10mmの真鍮管を着けたもので、これは被検者の指の大きさによる個人差を考慮して、各種の内径のものを多数作製して置く。これを指節に密にしかも鬱血を来たさない程度に適当に嵌め、他の不関電極は真鍮の円環を関電極を着けた指の隣の指の指節に嵌め込み、両電極を脈波計のinputに接続する。

本法の実施の場合に必要な注意事項は第1に室温を適当として温度による自律神経性の脈波曲線の動揺を避けること、第2は安心感を与えて精神の動揺によるストレスを可及的に少なくすること、第3は同一人についてあまり長時間の測定を行わないこと、第4は呼吸相による波形の変動に注意することである。かかる注意のもとに本法を実施した。

脈波波高の較正方法は萩野²⁰⁾によれば電極板間の固有容量(C₀)に対して、並列にC₁、C₂の容量素子を挿入、C₂の短給スイッチを開閉することによる微小電気容量変化ΔCxは

$$\Delta Cx = C_1 - \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \dots\dots\dots 3)$$

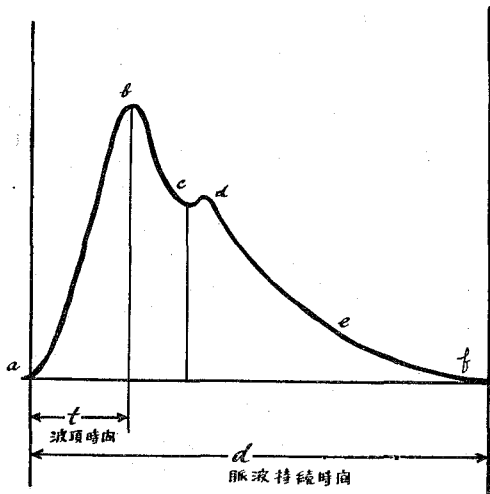
で表わされ、C₁およびC₂を適当に選べばΔCxを適当にして脈波記録の縦軸に一定の電気容量変化を与えることができる。この較正方法によつて同一個人の異なる部位の脈波波高の数量的比較はもちろん、個人差をも計測することが可能となる。この較正脈波曲線の分析への例は次報に於いて記載する予定である。

III. 実験成績

1. 脈波波形

本法によつて得られた脈波曲線は動脈の側圧曲線であつて、指節動脈壁の動揺をi表わしている。一般に末梢脈波は中心脈波と異り、指節の電極との密着度、指節電極と心臓の相互位置関係、精神状態、年齢などの条件に左右されるが、その典型的なものを模型図で示すと第4図の如くである。

今後の記述に対する理解のためにこれについて説明をすると、脈波曲線は全体としてa b c d e fに示す如く、a bの上昇脚とb—fの下降脚から成つている。一般に上昇脚は急峻で、下降脚は緩かで、各種の動揺を示している。a—bの上昇脚



第4図 9才♀の例を画く

は左心室の収縮（等張性又は等力性）によつて、血液が左心室から大動脈に勢よく駆出されるために起る圧変化で心室の駆出期に当る、bはその頂点をなす。この上昇脚の初まりからbまでの時間を波頂時間（crest time, t）という。下降脚の中途にCという陥没部（dicotic notch）が現われる。これは中心脈波の切痕（incisura）に当るものでbからcまでは左心室収縮が癒かになり、心収縮の緩やかな駆出期に当る。陥没部は左心室弛癒によつて、駆出力が弱くなり、血液が動脈側より心臓に向つて逆流するために生ずる圧下降を表わす、したがつてaよりcまでの期間が心収縮期である。dは重搏隆起（dicotic wave）で、その成因については多少の議論はあるが主なものは正方向、すなわち末稍向きの波と動脈弁より末稍にある動脈部位の点よりの反射波とが合成されて生じたものと解してよい。第5図は被検者81名のうち3～15才までの男女小児17名の指節脈波曲線を示す。これをみると明らかなように3～6才の如き低年令の小児の波形は、10～15才の如き高年令のそれらと異つてゐるが、7～9才の間は両者の中間の型を示す。すなわち低年令者（3～6才）では波形は単純で、上昇脚は比波的癒やかで、下降脚はX少しく延びている程度でb波は丸味を帯びている。また重搏隆起はb波に近づいて現われる。したがつて波型は等辺三角形の1つの角を丸くしたようなものである。これに対して高年令者（10～15才）では波形は大体成人のそれに

近く、上昇脚は急で、b波は著明となり、陥没および重搏隆起も著明となり、かつ重搏隆起はb波より遠い所に現われる。全体としては下降脚が引き延ばされた三角形をなす。また7～9才代の波形は上記両者の中間型を示すが、どちらかというより高年令者の波形のものが多くみられる。前に述べた如く末稍動脈の脈波形は心機能状態、動脈血管の状態および末稍抵抗の変化などによつて変動するから波形のみから上記のすべての状態を推定することは許されないが、一定の基準を設ければその可能性はある。

2. 波頂時間(t)脈波持続時間(d)および波頂時間：脈波持続時間(d)。

a) 波頂時間(t)

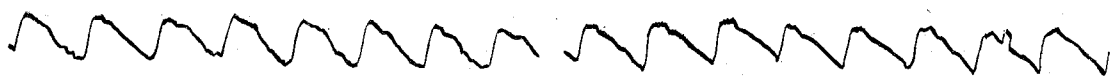
被検者81名の男女小児についての波頂時間計測値は第1表に示す如くで、この表からさらに年令別、性別の検査例数を表示したのが第2表である。第3表は男女児を一括して各年令別に示した波頂時間の範囲および波頂時間平均値である。第3表に示す如く3～4才の平均値は0.14秒、5～6才で0.13秒、7～8才で0.12秒、9～10才で0.11秒、11～12才で0.10秒、13～14才で0.10秒、15～16才で0.08秒であつて、年令の増加するにつれて波頂時間は減少する傾向を示している。

b) 脈波持続時間(d)

持続時間は脈波数の逆数であるから、これが加令につれて増加することは生理学的に明らかであるが、第4表は各年令の持続時間の範囲とその平均値である。平均値は3～4才で0.60秒、5～6才で0.61秒、7～8才で0.66秒、9～10才で0.68秒、11～12才で0.71秒、13～14才で0.88秒、15～16才で1.00秒となつてゐた。すなわち予想された如く年令の進むとともに持続時間は延長している。

c) 波頂時間と脈波持続時間の比(t/d)

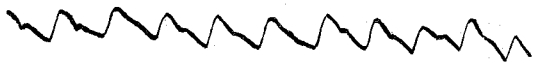
波頂時間は持続時間と不可分の関係にあることは当然のことで、小児の年令とこれらの数値との関係とを明らかにするには両者の比、すなわちt/dを目安とすることが好ましいと考える。第5表はこの関係を示す数値(%)で、その平均値は3～4才で22%、5～6才で21%、7～8才で17%、9～10才で16%、11～12才で12%、13～14才で12%、15～16才で8%である。すなわち個人差はもちろんあるが一般に年令が長ずるにつれてt/dは小値



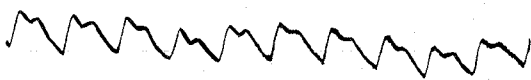
a 5才 ♂



d 10才 ♀



b 9才 ♂



e 10才 ♂



c 9才 ♀



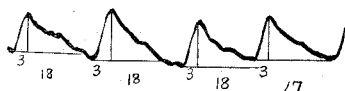
f 12才 ♂



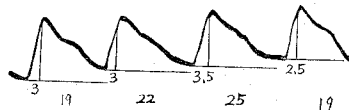
g 15才 ♂



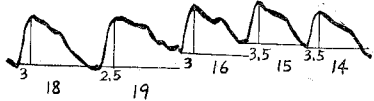
h 3才 ♂



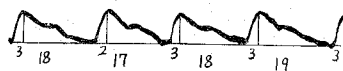
i 8才 ♀



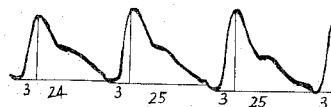
o 11才 ♀



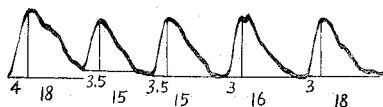
l 5才 ♀



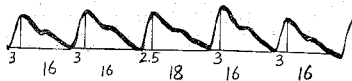
m 9才 ♂



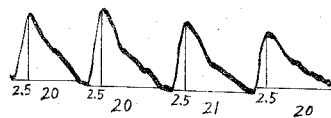
p 11才 ♀



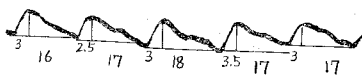
n 7才 ♀



r 9才 ♀



s 14才 ♀



t 11才 ♀

第5図

第 1 表

	年 令	性 別	t	d	d/d
1	5	♂	0.13	0.68	0.19
2	12	♀	0.10	0.88	0.11
3	5	♂	0.13	0.63	0.21
4	11	♀	0.08	0.80	0.10
5	6	♀	0.12	0.56	0.21
6	12	♀	0.10	0.92	0.11
7	3	♀	0.12	0.54	0.22
8	11	♀	0.12	1.00	0.12
9	4	♀	0.14	0.62	0.21
10	12	♀	0.10	0.92	0.11
11	3	♂	0.16	0.66	0.24
12	11	♀	0.08	0.90	0.09
13	3	♀	0.14	0.60	0.23
14	12	♀	0.09	0.68	0.13
15	15	♀	0.08	1.05	0.08
16	12	♀	0.10	0.96	0.10
17	15	♂	0.08	1.00	0.08
18	12	♀	0.14	0.64	0.21
19	15	♂	0.09	1.00	0.09
20	7	♂	0.10	0.67	0.15
21	16	♂	0.08	0.96	0.08
22	8	♂	0.12	0.78	0.14
23	16	♂	0.08	0.96	0.08
24	7	♀	0.09	0.66	0.14
25	15	♂	0.08	1.04	0.08
26	7	♀	0.10	0.67	0.15
27	16	♂	0.10	1.06	0.09
28	8	♂	0.13	0.68	0.19
29	4	♀	0.16	0.65	0.23
30	7	♂	0.11	0.64	0.17
31	3	♀	0.14	0.60	0.23
32	8	♂	0.15	0.70	0.21
33	4	♂	0.10	0.51	0.20
34	8	♀	0.11	0.63	0.17
35	3	♂	0.14	0.60	0.23
36	8	♂	0.12	0.59	0.20
37	3	♂	0.16	0.65	0.23
38	8	♀	0.12	0.72	0.17
39	6	♀	0.13	0.52	0.23
40	7	♀	0.12	0.68	0.16
41	6	♀	0.10	0.68	0.15
42	8	♀	0.12	0.56	0.21
43	6	♂	0.16	0.68	0.24
44	13	♂	0.10	0.84	0.12
45	5	♂	0.14	0.56	0.25
46	14	♂	0.12	1.00	0.12
47	5	♀	0.14	0.60	0.23
48	13	♂	0.10	0.84	0.12

49	5	♀	0.12	0.54	0.22
50	13	♂	0.10	0.60	0.16
51	16	♂	0.08	0.90	0.09
52	13	♀	0.12	0.92	0.13
53	16	♂	0.08	0.88	0.09
54	14	♀	0.09	0.68	0.13
55	15	♀	0.07	1.18	0.06
56	14	♀	0.08	0.80	0.10
57	15	♂	0.07	1.04	0.07
58	13	♀	0.08	1.04	0.08
59	9	♀	0.09	0.78	0.12
60	14	♀	0.10	0.92	0.11
61	10	♀	0.08	0.68	0.12
62	13	♀	0.12	1.00	0.12
63	10	♀	0.12	0.69	0.18
64	14	♀	0.08	0.88	0.09
65	10	♀	0.12	0.72	0.17
66	13	♀	0.12	1.00	0.12
67	9	♂	0.12	0.72	0.17
68	9	♂	0.12	0.68	0.16
69	9	♂	0.12	0.68	0.16
70	10	♂	0.14	0.64	0.21
71	9	♂	0.12	0.64	0.18
72	10	♂	0.12	0.64	0.18
73	10	♂	0.12	0.64	0.18
74	9	♂	0.12	0.60	0.20
75	9	♂	0.11	0.66	0.16
76	9	♂	0.08	0.70	0.11
77	11	♂	0.09	0.68	0.13
78	11	♂	0.08	0.70	0.11
79	12	♂	0.10	0.72	0.13
80	12	♂	0.12	0.84	0.14
81	11	♀	0.10	0.76	0.13

第 2 表

年 令	例 数		
	女 児	男 児	計
3~4才	5	4	9
5~6才	7	2	9
7~8才	6	6	12
9~10才	4	10	14
11~12才	10	4	14
13~14才	8	4	12
15~16才	2	9	11
計	42	39	81

第3表 波頂時間(t)の年齢別平均値

年 令	波長時間(範囲)	平均値(秒)
3~4才	0.10~0.16秒	0.14
5~6才	0.10~0.16秒	0.13
7~8才	0.09~0.15秒	0.12
9~10才	0.08~0.14秒	0.11
11~12才	0.08~0.14秒	0.10
13~14才	0.08~0.12秒	0.10
15~16才	0.07~0.10秒	0.08

第4表 脈波持続時間(d)の年齢別平均値

年 令	持続時間(範囲)	平均値(秒)
3~4才	0.51~0.66秒	0.60
5~6才	0.52~0.68秒	0.61
7~8才	0.56~0.78秒	0.66
9~10才	0.60~0.78秒	0.68
11~12才	0.64~1.00秒	0.71
13~14才	0.60~1.04秒	0.88
15~16才	0.88~1.18秒	1.00

となる。

第6図はa), b), c), で述べた結果を図示したもので、波頂時間(t)は小児の年齢増加と共に緩やかながら明に減少を示している。持続時間(d)は年齢と共に緩やかに増長し、12才からはさらに急激に増加している。両者の比t/dはtの年齢的経過よりは年齢と共に急な勾配をもつて減少している。

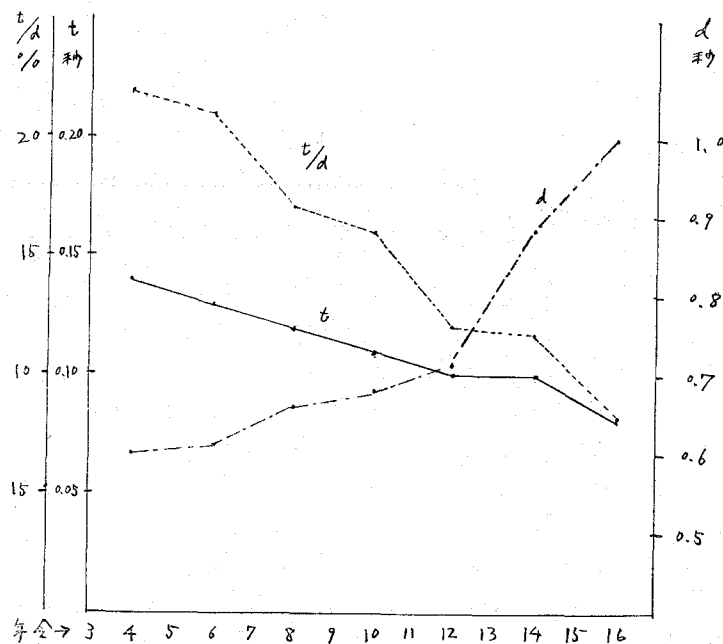
3. 脈波曲線と呼吸との関係

呼吸によつて血圧曲線と共に脈搏数が変動することはよく知られているところである。これによつて脈波曲線の形および大きさが変動を示すことも自明の理である。

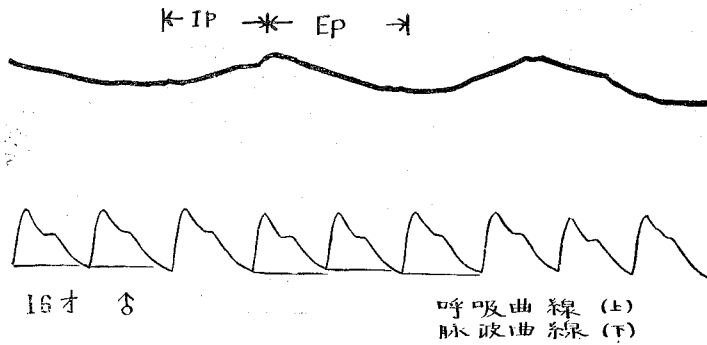
第5表 t/dの年齢別平均値

年 令	t/d (範囲)	平均値(%)
3~4才	0.20~0.24	22
5~6才	0.15~0.25	21
7~8才	0.14~0.21	17
9~10才	0.11~0.21	16
11~12才	0.09~0.21	12
13~14才	0.08~0.16	12
15~16才	0.06~0.09	8

呼吸曲線はゴム管内にZnSO₄溶液を入れたものを胸廓に巻きつけ、胸廓運動による溶液の動揺を電気抵抗の変化として記録すれば吸息は上昇脚



第6図 年齢と波頂時間、持続時間およびt/dとの関係



第7図

を、呼吸は下降脚を示す。第7図はその呼吸曲線と同時に脈波曲線を描記した1例である。図に示す如く、吸息時の初期に脈波曲線は増大し、後期には減少する。呼息時には初期に減少し、後期に増大する。脈搏数は吸息時の初期に増加し、後期に減少し、呼息時には大体吸息時の反対の傾向を示す。第5図(c)および(g)の例にもよく注意すると吸息と呼息の脈波曲線への影響が明らかに見られる。

呼吸数と脈搏数の関係は小児では4:1となっているから、さきに述べた波頂時間および脈波持続時間の計測は同人についてできうれば8~10個の脈波について行なうのが理想であるが、小児の場合必ずしも理想通りに行かない場合もあつた。波頂時間対持続時間 (t/d) については呼吸の影響は少なくなつて表われた。

IV. 考 按

以上著者は健康小児を対象として、その指節脈波についてその波形、波頂時間、持続時間およびt/dについて述べたが、以下これらの成績について少しく考按を加えて見よう。

a) 指節においての記録が脈波変動を現わしていることの検討。

手指には尺骨動脈と橈骨動脈の枝が来て、その掌側と背側に分布している。主なものは掌背共に2本ずつで、その走行は指側面に添っている。前記の固定電極板は、例えば第2指の中節のまわりに置いてあり、可動電極と見られる皮膚は中節の側面にある動脈脈搏によつて固定電極との距離の変動を受けている。今この固定電極下の血管容積総和をvとすると、脈波々動dpによる変動はE・dvである。Eは後記の如く血管の容積弾性率を表わ

はし、一定と考えてよいからdvはdpに比例して変化する。固定電極環の幅をlとし、ここの動脈の総横断面積をqとし、その半径をrとすると、 $v = q \cdot l = \pi r^2 \cdot l$ であるから、 dv は $dq \cdot l + q \cdot dl = 2\pi r dr \cdot l + \pi r^2 dl$ となる。

脈波動によつて血管の長さは変化しないと見ると、

$$dp = E \cdot dv = E \cdot 2\pi l \cdot r \cdot dr \dots\dots\dots 4)$$

となつて、dr、すなわち血管壁の半径方向の変動が脈波による当該血圧の変動を示していることになる。1)式に表わした極板間の距離dの変化はこのdrの変動に置き換えられる。容量(C₀)の変化は厳密には2)式で表わはされるが上記によつて、変動(dr)は指節の側面の両側に強く響くので、1)の如く簡単に考えても差支えない。

佐伯¹⁵⁾ (1959) は新型電気容量脈波計を試作を報じているが、これは Atzler および Lehmann⁷⁾ (1932)の Dielektrographie と、筑島、永井^{8~11)}の電気容量脈波計(1953, 1957)との中間のもので血流量による2つの電極板間の誘電率(ε)の変化によつて起る電気容量の変動を記録する装置であつて両極板間の距離は一定であり、かつ両極と連絡する皮膚部位の容積の(bv)の変化、したがつて、インピーダンスの変動(Nyboer, 1950)をεの変動の内に含ませている如くで、したがつてその名前は capacitance Plethysmography となつている。萩野²⁰⁾が述べているように本法で脈波を記録する場合に不関電極と固定電極の距離が大きい程、またこの電極面積が小さい程、この不関電極からの脈波が固定関電極の脈波に影響するが、著者はこのことを考慮して、両電極の距離を少なくし(第2指と第3指の如く)また不関電極を環状として

可及的に面積を大きくしたが、将来はこの電極面積を 1 cm^2 以上にすることも必要となる。

b) 臨床的に実施可能な方法としての本法

既に Wiggers¹⁾, Hamilton²⁾ Wezler-Böger²³⁾ Hyman²³⁾ (1961) などの報告に見る如く、血管内にカニューレ又はカテーテルを挿入して内圧変化を記録する方法は理想的であるが、これは被検者側からも、また検者にとつても臨床的普遍な方法とはいい得ない。Dontas²⁴⁾ (1961) は人で上膊動脈の血管内脈波形と血管外脈波形(側圧法)とを比較検討しているが、マンシエットの加圧が拡張期圧程度の場合に内外の脈波形はよく似ていると述べているが、著者の経験によるもまた本法を用いた他の研究者によるも、絶縁固定電極を指節皮膚にある程度密着される場合によい波形を得ているのは、Dontas の述べたことを裏書きするものとする。

著者はこの両電極板間の距離、したがって電気容量(C)が不関電極の皮膚への密着程度によつて異り、血管壁の脈動によるその変化分 ΔC が変動することを考慮して第5図dに見られる如く較正曲線を経過の途中に挿入した。これは後で論ずるように同一個人の記録部位の差による波形を数量的に比較する場合にはさらに重要な意義と持つものである。

次に指節脈波は末梢脈波であつて、このものは中心脈波と異つて、血管運動神経、自律神経中枢などの身体精神的因子によつて波形が変動することはよく知られていることで、全波形の数量的分析を行なう場合には同一人による差異および個人的差異の推計学討検を必要とするのであるが、本編ではこれらについては言及しない。本法によつて得られた脈波形は実験成績で述べた如く11才以上の高年小児の脈波は正常成人の脈波と殆んど変りなく、a, b, c, d, e, f, の正負の波を現わしているが、特にこれらの波形では心臓駆出力の表現である収縮初期の波、すなわちb波と陥没部(c)および重搏隆起(d)が明瞭である。年齢が若くなるに従つて、b波は不明となり、b-dの間はやや平坦(plateau)をなしている。これはおそらくこの10才代までは末梢抵抗が比較的大きく、かつ心搏出力の充分発達していないためと考えられる、したがつて若年小児の脈波ほど等辺三角形の尖端部の鈍化したドーム型とな

つて現われる。

c 呼吸相の脈波曲線への影響

これについては等しく先人の認めているところであるが、著者は呼吸曲線として被検者の胸廓の変動による電解質溶液(硫酸亜鉛)の液層変動を抵抗変化に変換し記録したのである。7図の如く呼吸性動揺は明らかに認められるが、吸息時初期の脈波の振巾の増大と数の増加、後期の逆の変動および呼息時の吸息時との反対の影響は胸廓腔の陰圧の変動、呼吸中枢の心臓中枢および血管中枢などへの影響により両現象の時間的のずれが個人的に異なることから、呼吸性変動を的確に記載することを避け、ただ呼吸性変動を考慮するためには少くとも1呼吸時間の脈波数、約8~10個を記録すべきであることを付け加えたい。

齊藤ら¹⁶⁾は呼吸相の影響を考えて呼息から吸息に移る際、特に呼吸をとめさせているが、著者の場合は小児であり、またその程度が大人の如くに行かず、精神的影響もあると思う。

d 波頂時間の年齢的経過についての理論的考察

実験成績の第3表および第6図に見る如く波頂時間(t)は3~4才の年少者で大きく0.14秒を示し、年齢増加と共に減少し、15~16才で0.08秒と減少している。佐々木¹⁷⁾ および藤田¹⁹⁾ の報告で明らかのように成人では0.10~0.12秒で、50才代で0.23秒となつている。したがつて0~50才までを対象とすると、波頂時間は幼年期で長く、年齢と共に短縮して、おそらく20代で最少となり、これより再び増加し、50才で増大し、50才以上では徐々に増加すると考えられる。一見するとこの原因は中心動脈血管壁の弾性的変化、又は末梢動脈の抵抗の年齢的変容に求められると思われるが、この現象の単一の変化よりはこの両者の変動を合わせ考慮すれば説明できるようである。

Frank²⁵⁾の Windkesseltheorie およびこの考えを引き継いだ Broemser および Ranke²⁶⁾の所論をよく検討すると、動脈々波の波形は理論的に次に述べる如く取扱うことができる。

いま動静脈の圧差をP, Windkesselの抵抗すなわち中枢抵抗をW₁, 末梢の抵抗をW₂, とし、Frankのいう Windkessel(これは大動脈弁からA. iliacaの終端までといわれるが今日は多少見解

が違っている)の容積弾性率を $E = \frac{dp}{dv}$ (すなわち上記血管系内容積変化 dv による圧変化 dp の比) とすると、心臓の収縮期の動脈圧の時間的変化は

$$p = \frac{PW_2}{W_1 + W_2} \left(1 - e^{-\frac{E(W_1 + W_2)}{W_1 W_2} t} \right) + pde^{-\frac{E(W_1 W_2)}{W_1 W_2} t} \dots\dots\dots 5)$$

また弛緩期の圧の変動は

$$p = pie - \frac{E}{W_2} t \dots\dots\dots 6)$$

で表わされる。ただし pi は切痕 (incisura) の血圧、 pd は弛緩期血圧を意味する。

5) [又は9)]式において $t = 0$ とするとこれは心収縮期の初期を表わし、5) [又は9)]式の第1項 = 0、第2項は pd となるからこれは $p = pd$ で弛緩期圧を示す、 $t = 0$ から、 $t = i$ (切痕) までは収縮期でこれは後記(9)式の如く第1項は増加項で、第2項は減少項であるから指節脈波曲線の波頂時間に対しては上記の5)式が当てはまる。すなわちこの式は収縮期血圧曲線は第1項の時間と共に増加する部分と、第2項の時間と共に減少する部分とから成っている。他方6)式は弛緩期すなわち $t = i$ から $t = d$ (弛緩期の終り) までの曲線経過を示すが、この下降脚の部分の Slope が前記の上昇脚の Slope より緩やかであることは8)式で判るように $\frac{1}{W} > \frac{1}{W_2}$ であるから $\frac{E}{W} > \frac{E}{W_2}$ となつて、6)式の p の Slope の方が9)式 p の Slope より緩やかであることが理解される。すなわち上の検討によつて脈波曲線の全経過が定性的理論的に説明されることになる。

さらに第1項の p は初期に大きく、後期(緩脈出期)に小さくなっている。以上3つの現象の時間的重量によつて上昇脚は初め急に増大し、頂点に達し後に緩やかに、次の切痕まで減少する曲線を示すことがわかる。この曲線の頂点に達するまでの時間が波頂時間(t)であるから、この曲線の経過を支配する因子 W_1, W_2, E, P を考察すれば t が定性的に解明できるが、 P については、Frank²⁷⁾ 以来よく知られているので、 E, W_1, W_2 について考察すると

また、 $E = \frac{dp}{dv} \dots\dots\dots 7)$

$$\frac{1}{W} = \frac{1}{W_1} + \frac{1}{W_2} = \frac{W_1 + W_2}{W_1 W_2} \dots\dots\dots 8)$$

であるから曲線は Windkessel の弾性率(E)と血管系の全抵抗 W との両者の函数によつて変わる。

齊藤¹⁶⁾ は高血圧症患者について、 E, W を求めているが、これらの数値の年令的推移については測定していない。さらに小児についての数値はわ

第6表

年令	5 才	10 才	成人
$E \left(\frac{\text{Dyn}}{\text{cm}^5} \right)$	4280	2890	1800
$W \left(\frac{\text{Dyn} \cdot \text{Sec}}{\text{cm}^5} \right)$	5080	2640	1800
脈 搏 数(分)	95.6	82.3	72
$\frac{E}{W}$	0.8	1.1	1

が国では見当らない。そこで Wezler および Boger の論文から引用すると第6表の如くである。この表から著者が F/W を求めた値が最下行に記入してある。5) 式はしたがつて

$$P = \frac{PW_2}{W_1 + W_2} \left(1 - e^{-\frac{E}{W} t} \right) + pde^{-\frac{E}{W} t} \dots\dots\dots 9)$$

であるから上記の $\frac{E}{W}$ の比を考慮すれば、波頂時間は年少小児5才頃で比較的長く ($\frac{E}{W} = 0.1$) 10才頃から減少し始め ($\frac{E}{W} = 1.1$) 15~16才から成人 ($\frac{E}{W} = 1$) の間で最少を示し、成人に至つて再び増加し、50才代位まで (おそらく $\frac{E}{W} < 1$) 緩やかに増加することが推定される。

著者は $E, W,$ 等の数値について小児で計測していないので立入つたことの論議はさけるが、将来はこれらの数値を計測し弛緩期の下降曲線をも含めた全脈波曲線の形について考察して見たいと考えている。

V. 結 論

著者は改良型電気容量脈波計を用い、3~16才

までの健康小児男女合わせて81名を対象にして指節脈波を記録して次の結果を得た。

1. 小児の脈波波形は一般に年少者ほど単純な形を呈している。

2. 波頂時間の年齢別平均値は、年齢の増加するにつれて減少している。

3. 脈波持続時間の年齢別平均値は、年齢の増加するにつれて増大している。

4. (t/d) もまた年齢の増加するにつれて減少している。

5. 呼吸と脈波との関係については、吸息時の初期に脈波曲線は増大し、後期には減少する。呼息時には初期に減少し、後期に増大する。脈搏数は吸息時の初期に増加し、後期に減少し、呼息時には大体吸息時の反対の傾向を示す。

6. 波頂時間の年齢的推移については、Frankらの脈波理論を基礎にして理論的解明を試みた。

稿を終るに当り終始御指導と御校閲を賜りました恩師磯田仙三郎教授、第1生理学教室養島高教授、草地良作助教授、藤田紀盛講師に深謝致します。

本論文の要旨は第10回東日本小児科学会において発表した。

文 献

- 1) **Wiggers, C. J. and Barker, W. R.** : J. Lab clin Med 10 54 (1924)
- 2) **Hamilton, F. W. Brewer, G. and I. Brotman** : Amer J Physiol. 107 427 (1934)
- 3) **Burch, E. G.** : Methods in medical research Ed. Potter 1 116 (1948)
- 4) **Nyboer, J.** : Impedance plethysmograph. in medical physics (ed, Glasser) 2 736(1950)
- 5) **Kaindl, F., Polzer, K and Schuried, F.** : Rheographie 1959
- 6) 真下俊一 : 医学綜報 1 387 (1947)
- 7) **Atzler, E. und Lehmann G.** : Arbeitsphysiol. 5 636 (1932)
- 8) 永井精吾 : 応用電気研究所彙報 5 192 (1953)
- 9) 永井精吾・石谷邦介 : 同上 6 88 (1954)
- 10) 植木美恵児 : 日本循学誌 19 130 (1955)
- 11) 養島高 : 医学エレクトロニクス 南山堂 173 (1957)
- 12) 近藤駿四郎・竹内一夫・遠藤雄三 : 医科器誌 11 6 (1952)
- 13) **Herzman, A. B.** : Methods in medical research 1 (ed. potter) 166 (1948)
- 14) 石井康雄・金子仁郎 : 精神経誌 60 327 (1958)
- 15) 佐伯英正 : 関西医誌 11 297, 309, 320, 336, (1959)
- 16) 斎藤十六 : 日本臨床 16 1071 (1958)
- 17) 佐々木ハナ : 東女医大誌 29 1029 (1959)
- 18) 佐野アヤ子 : 東女医大誌 30 375 (1960)
- 19) 藤田トク : 東女医大誌 29 1109 (1959)
- 20) 荻野義夫 : 日本生誌 22 197 (1960)
- 21) 山県小伊志 : 東女医大誌 30 928 (1960)
- 22) **Wezer, K. & Böger, A.** : Ergeb physiol 41 292 (1939)
- 23) **Hyman, C. & Winsor T.** : Amer Heart J, 61 424 (1961)
- 24) **Dontas, A. S.** : Amer Heart J, 59 576 (1960)
- 25) **Frank, O.** : Ztschr. f. Biol. 37 483 (1899)
- 26) **Broemser, ph., and Ranke O. F.** : Ztschr f. Biol 30 467 (1930)
- 27) **Frank, O.** : Ztschr. f. Biol 32 370 (1895)